

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

618-25 EL HORNO VERTICAL (Continuación)

(Der Schachtofen)

Wilhelm Anselm.

- - -

d) Carga del hogar.

Según la fig. 12 publicada en el número anterior de este Boletín, la altura media propiamente dicha de la zona de sinterización varía desde 1,4 m en el horno nº 1 hasta 0,2 m en el nº 7. Procede ahora calcular la carga del hogar en $\text{Kcal/m}^3 \text{ h}$ en el horno nº 7, teniendo en cuenta el precalentamiento del aire. En la Tabla 15 se indican las cargas específicas de hogares de otros aparatos térmicos.

Tabla 15
Carga del hogar en $\text{Kcal/m}^3 \text{ h}$

Hogar de polvo de carbón para calderas con cámara de combustión totalmente refrigerada.	0,15 - 0,30 x 10^6
Hogar de parrilla móvil para calderas	0,2 - 0,45 x 10^6
Zona de sinterización de los hornos rotativos de cemento.	0,275 - 0,325 x 10^6
Hogar de cámaras de fusión.	0,4 - 0,7 x 10^6
Hogar de petróleo o gas con cámara de combustión totalmente refrigerada.	1,5 - 3,0 x 10^6
Horno vertical de cemento de gran rendimiento (1952), - zona de sinterización.	10,0 - 14,0 x 10^6
Grupo motopropulsor de aviación	100 x 10^6

Se pone claramente de manifiesto la elevada carga del hogar que se ha conseguido en los hornos verticales de cemento, sobre todo por el aumento que ha experimentado la velocidad de los gases ($v = 26 \text{ m/seg}$), debiéndose tener presente que el combustible está rodeado de un 90% de materia no combustible. Queda así claro lo que puede conseguirse en hogares de parrilla, - empleando un moldeo adecuado, incluso con carbones de mala calidad y con un precalentamiento suficiente del aire de combustión. Conocida es la gran cantidad de menudos de antracita que ya se moldean en los Estados Unidos, y el estudio del horno vertical debe poner de manifiesto las ventajas que pueden conseguirse moldeando los combustibles de mala calidad.

e) Pérdidas de presión.

En la fig. 1 se indican las presiones aplicadas al aire de combustión, lo que constituye otra explicación gráfica del aumento experimentado por la producción. La marcha de la presión se ha representado por valores medios procedentes de ensayos de orientación. La marcha en la zona de sinterización no es muy segura, pero se deduce de la tendencia general en las zonas de calcinación y secado. A partir de estas curvas se ha determinado - después, planimétricamente, la presión media, referida a la altura total.

Se pone de manifiesto que la presión sólo aumenta con respecto a la pérdida de carga que se observa sobre la parrilla, cuando se eleva la altura del horno para obtener un mejor enfriamiento del clinker. En los hornos modernos la pérdida de carga - viene a ser de 50 á 100 mm por metro de altura. En general, en los modernos hornos verticales, así como en los hornos de cúpula,

la presión es de aproximadamente 1,75 x altura del horno en cm; por ejemplo, $1,75 \times 900 = 1580$ mm de columna de agua. Las variaciones del diámetro interior del horno tienen apenas una influencia perceptible sobre la pérdida de presión.

Como ya se ha dicho anteriormente, es menester tener en cuenta las pérdidas de presión provocadas por las conducciones, por el diafragma de medida y por la parrilla, para obtener la pérdida de carga propiamente dicha.

Sin embargo, la presión total aplicada no parece tener demasiada importancia; por el contrario, tiene un mayor interés la presión que subsiste en la zona de sinterización. Esta presión que se obtiene a partir de la altura de la zona de sinterización, viene dada en la curva a de la fig. 1. Antiguamente era quizá sólo de 10 mm de columna de agua, mientras que en la actualidad es de 500 mm. La presión total, descontando la fracción disponible en la zona de sinterización, es empleada para el enfriamiento del clinker.

Comparando las figuras 12 (No. 41 de U.A.M.C.) y 1, - se pone de manifiesto que un aumento de la presión desde 10 hasta 500 mm de columna de agua (= 1:50) en la zona de sinterización da lugar a una disminución de esta zona desde 1,4 a 0,2 m, o sea, de 1 á 0,14 m. Claro que esta comparación, como todas las restantes, sólo es válida en tanto que no se modifiquen las restantes condiciones, como son consumo de calor, tamaño de los gránulos, retracción y volumen de huecos.

En estas mediciones de pérdida de presión se considera únicamente la presión estática, pues en el caso que nos ocupa la pérdida de presión dinámica es ínfima.

La fig. 2 da la pérdida específica de presión en mm de columna de agua/tonelada diaria, para los distintos consumos de calor. Se ve ya claramente que la disminución del consumo de calor, para una producción creciente, hace decrecer fuertemente la pendiente de la curva de la producción específica, con lo que puede contarse con un aumento de presión relativamente muy pequeño para mayores producciones. Esto no podía preverse, e incluso recientemente se contaba con un fuerte aumento de presión.

La fig. 3 da la pérdida total de presión en mm de columna de agua en función del tamaño medio de grano en el interior del horno. Se observa que el hábito de la curva es análogo al de la fig. 6 (No. 39 de U.A.M.C.), de Bansen y Ramsin. Más adelante, cuando hablemos de las velocidades, explicaremos la marcha de la curva a partir de consideraciones sobre el régimen de la corriente de gases. Esta dependencia del tamaño de grano no es exactamente correcta, pues los huecos entre los granos -- (huecos hidráulicos) dan lugar a una pérdida de presión.

Es notable la rápida ascensión que presenta la curva a partir de 25 mm de tamaño de grano, pero solamente en comparación con la producción (véase la fig. 2), como resulta de lo que sigue:

Disminuyendo el diámetro de los granos en la relación de 2:1, resultan para el aumento de la presión los valores de la Tabla 16.

Tabla 16

Influencia del tamaño de los gránulos sobre el aumento de presión

Tamaño de grano	Aumento de presión
de 100 á 80 mm de diámetro	de 1 á 6,75
de 80 á 40 mm de diámetro	de 1 á 2,15
de 40 á 20 mm de diámetro	de 1 á 1,64
de 20 á 10 mm de diámetro	de 1 á 1,475
de 10 á 5 mm de diámetro	de 1 á 1,285
de 5 á 2,5 mm de diámetro	de 1 á 1,128

En este hecho deben tenerse en cuenta también las modificaciones que experimentan los restantes factores. Pero resulta también que las normas generales conocidas pueden conducir a conclusiones falsas. Hasta ahora, se había supuesto que una disminución en el tamaño de grano de 2 a 1 da lugar a una elevación de la presión de 1 a 2 ($\Delta p = \frac{1}{d}$).

Esto es válido solamente para tamaños de grano comprendidos entre 80 y 40 mm y para igualdad de las restantes condiciones; pero en el presente estudio se han modificado todos los factores que cabe considerar, al menos en la medida en que han podido estudiarse aisladamente. Con ello se ha realizado por vez primera una comparación en las condiciones reales.

La fig. 4 da la pérdida específica de presión en mm - de columna de agua (valores medios), referida a 1 m de altura y en función del tamaño medio de grano, en comparación con los valores encontrados en la bibliografía. Resultan curvas de marcha bien definida y determinada por la velocidad del aire o gases y por el régimen de la corriente (laminar-intermedio-turbulento).

El resto de las curvas se desprende de la consideración de los valores correspondientes a las parrillas de sinterización.

Tabla aclaratoria de la Fig. 4
Pérdida específica de carga-tamaño de grano

Horno	Material	Pérdida de carga	Cantidad media de aire o gases en $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ h } T_m$	Velocidad media del aire o gases en $\text{m}/\text{seg.}^*$	Temperatura media en $^{\circ}\text{C}$	Observador	
1a	Horno verti - cal	Clinker de cemento	Media	974	0,27	740	Anselm
1b	Horno verti - cal	Clinker de cemento	Media	2120	0,77	720	Anselm
1c	Horno verti - cal	Clinker de cemento	Media	4110	1,14	680	Anselm
1d	Horno verti - cal	Clinker de cemento	Media	5160	1,43	640	Anselm
1e	Horno verti - cal	Clinker de cemento	Media	5440	1,51	570	Anselm
1f	Horno verti - cal	Clinker de cemento	Media	5590	1,55	530	Anselm
1g	Horno verti - cal	Clinker de cemento	Media	5510	1,53	460	Anselm
2	Horno verti - cal	Clinker de cemento	Total	(como 1a - 1g)		Anselm	
3	Parrilla Le pol	Gránulos de crudo molido	Media	27200	0,75	425	Anselm
3a	Parrilla Le pol	Gránulos de crudo molido	Total				
4	Cinta de sinterización	Clinker de cemento	Media	46000	1,2	400	Anselm
4a	Cinta de sinterización	Clinker de cemento	Total				
5a)	$p = \frac{1}{d} v^2$	(calculado)		0,5	0		
5b)			0,35	0			
5c)			0,25	0			

* Referida a la sección supuesta totalmente libre.

Tabla aclaratoria de la Fig. 4

Pérdida específica de carga-tamaño de grano (continuación)

Horno	Material	Pérdida de carga	Cantidad media de aire o gases en m ³ /m ² h Tm	Velocidad media del aire o gases en m/seg*	Temperatura media en °C	Observador
6a	Columna de relleno - Anillos de cerámica, D=H	Total	6	2,0	20	Schliebs
6b	Columna de relleno - Anillos de cerámica, D=H	Total	6	1,5	20	Schliebs
6c	Columna de relleno - Anillos de cerámica, D=H	Total	6	1,0	20	Schliebs
6d	Columna de relleno - Anillos de cerámica, D=H	Total	6	0,5	20	Schliebs
7a	Horno de ensayo - Cok	Total	3000	0,88	20	Banson
7b	Horno de ensayo - Cok	Total	2000	0,58	20	(7)
7c	Horno de ensayo - Cok	Total	500	0,15	20	(7)
8	Pebble Heater				1040	Chem. Eng. - Hand. Book, - New York 1950 p. 1618

* Referida a la sección supuesta totalmente libre.

El hábito rectilíneo de las curvas 5a, 5b y 5c corresponde a la relación $\Delta p = \frac{1}{d} = v^2$; con esto, resulta que la anterior expresión sólo es válida aproximadamente para el régimen intermedio, y es función del tamaño de grano, en sentido negativo en el régimen laminar, y en sentido positivo en el régimen turbulento.

La citada figura 4 constituye ciertamente la primera representación sintetizada de los fenómenos que estamos tratando, y ha de encontrar también aplicación en otros procesos de combustión.

Las curvas 1 y 1a de la figura 5 dan la pérdida de presión (total y media en función de la producción diaria). En el caso de la pérdida total se hecha de ver una dependencia casi proporcional, de suerte que, por lo tanto, la elevación de la presión es igual al aumento de producción y se pone nuevamente de manifiesto, como en la fig. 2, el incremento relativamente pequeño que experimenta la pérdida específica de carga en mm de columna de agua/toneladas diarias (curva 2). El hábito de las curvas 3 y 3a, correspondientes a la pérdida específica de presión en mm de columna de agua/m de altura, en función de la producción diaria, es análogo al de las curvas 1 y 1a.

Las curvas 4 y 4a dan la pérdida específica de presión en mm de columna de agua, referida a la relación altura/diámetro. Si se desea realizar una comparación con otros procesos, debe considerarse principalmente la marcha de las curvas 4a y 4b. La curva 4b daría una dependencia lineal con la relación altura/diámetro. Ahora bien, se pone de manifiesto que, al crecer esta relación, desaparece la mencionada función lineal; de otro modo, habríamos alcanzado en la actualidad presiones de 2400 mm de colum

na de agua, en lugar de la presión máxima determinada, que es de 1800 mm de columna de agua. Por esto, con razón ha indicado Fehling (13) que la resistencia es exactamente proporcional a la relación altura/diámetro, al menos para diferencias de presión inferiores a 300 mm de columna de agua (por ejemplo, en los hornos verticales de cal).

La fig. 5 pone de manifiesto que en los hornos verticales de cemento la dependencia lineal es válida hasta 600 mm de columna de agua, y, a partir de aquí, la presión crece mucho menos. Como la altura es aproximadamente constante, resulta que el único factor que influye de un modo decisivo es el diámetro de grano, como ya hemos podido ver en las figs. 3 y 4.

Se encuentra una explicación de esto en el hecho de que las temperaturas medias en el horno disminuyen fuertemente desde 740 a 460 °C, lo cual se ha comprobado también en el horno frío, que no requiere más que 1/5 de la presión ordinaria de trabajo.

f) Velocidades del aire y de los gases

Hasta ahora se había venido realizando un sencillo cálculo de las velocidades del aire y de los gases, referido a la sección del horno considerado vacío, pero de este modo no puede llegarse a una comprensión perfecta de lo que sucede en el interior del horno vertical de cemento. Por esta razón, hubo que calcular todos los valores de las velocidades referidas a la temperatura de 0 °C y a la temperatura media en el interior del horno, a la sección considerada totalmente libre y a la sección residual que queda de descontar la fracción correspondiente a la carga, quedando así introducido en el cálculo el volumen de huecos.

A este objeto se definen los siguientes conceptos de velocidad en m/seg:

v_{OL} = Velocidad del aire o de los gases a 0 °C, referida a la sección libre.

v_{tL} = Velocidad del aire o de los gases a t °C, referida a la sección libre.

v_{oF} = Velocidad del aire o de los gases a 0 °C, referida al volumen real de huecos.

v_{tF} = Velocidad del aire o de los gases a t °C, referida al volumen real de huecos.

habiéndose calculado también las velocidades medias referidas al volumen medio de huecos y a una temperatura media.

Tienen importancia v_{OL} y v_{oF} para la determinación de la velocidad real v_{tF} , que influye sobre la velocidad de reacción. En la fig. 3 se hecha de ver una dependencia casi igual de la pérdida total de presión y del valor de v_{tF} con el tamaño medio de grano, de modo que esta velocidad es la que determina la pérdida de presión.

La fig. 26 da el volumen de huecos calculado en función de la producción diaria en toneladas en la curva 6; las curvas 1 y 2 son idénticas a las 1 y 1a de la fig. 5. La curva 3 da los valores de la producción específica en toneladas diarias/m³ de volumen interior del horno en función de la producción diaria en toneladas. Se observa un crecimiento algo mayor de la curva para producciones elevadas. La curva 4 representa los valores de v_{OL} , y la 5 los de v_{oF} , ambos en función de la producción en toneladas diarias. La curva 4 de la fig. 6, v_{OL} /toneladas diarias, presenta

una marcha análoga a la de la curva 4 de la fig. 5, mm totales de columna de agua - $\frac{H}{dm}$.

Queda bien claro cómo la velocidad de los gases, v_{oP} , - depende totalmente del volumen de huecos. Este factor exclusiva - mente determina la velocidad y, con ello, el rendimiento. Resulta sorprendente la homogeneidad de los resultados en lo que se refiere a la marcha de las curvas, sobre todo si se tiene en cuenta - que el volumen de huecos se ha calculado por métodos diferentes - en los distintos casos.

La fig. 7 da la pérdida total de presión en mm de columna de agua en función de las diferentes velocidades del aire o de los gases. La curva 1 representa la dependencia de v_{oL} ; para velocidades pequeñas de 0,05 a 0,1 m/seg. (régimen laminar), la pérdida de presión resulta ser función lineal de v_{oL} , para depender - después del cuadrado de la velocidad, esto es, a una velocidad do - ble corresponde una pérdida de presión cuatro veces mayor, como - se había venido suponiendo hasta la fecha. La curva 1a expresa es - ta dependencia. Pero, como pone de relieve la prolongación de la - curva 1, la pérdida de carga llega a ser del quintuplo. Futuros - ensayos y mediciones en hornos verticales de gran rendimiento con elevadas producciones por encima de 200 toneladas diarias han de demostrar si la regla general $\Delta p = v_{oL}^2$ sigue teniendo validez - para valores elevados de v_{oL} , como vienen indicando hasta ahora - las mediciones más recientes. La marcha de la curva 2, correspon - diente a v_{tL} , indica ya que el aumento es demasiado grande, pues en este caso la pérdida de presión pasa de ser el doble inicialmen - te a ser 5,75 veces mayor en el ensayo nº 7, y después continúa - creciendo intensamente.

La curva 3, correspondiente a v_{oF} , indica al principio un aumento de presión aproximadamente de cinco veces al duplicar se la velocidad, y posteriormente de 2,2 veces. De acuerdo con las mediciones más recientes realizadas el aumento de la presión al duplicarse la velocidad es exactamente doble, de modo que la curva 3 desciende a partir de 2 m/seg.

La marcha de la curva 4 pone de manifiesto una dependencia uniforme entre la pérdida de presión y v_{tF} , porque ésta corresponde a la velocidad real; la pérdida de carga desciende desde 13 veces inicialmente a 3 veces en los últimos ensayos. Por lo tanto, no existe una relación lineal. Se echa de ver aquí la economía de presión que se obtiene con producciones elevadas. Evidentemente, no siempre es posible, en caso de decisiones rápidas en lo que se refiere a las características de los inyectores, establecer cálculos sobre el volumen de huecos correspondiente, por lo que es mejor introducir en el cálculo los valores de la curva 1 o 1a para v_{oL} . Estos cálculos se reproducen únicamente con el fin de hacer patentes algunos puntos oscuros que se encuentran en la bibliografía; en efecto, con frecuencia no se sabía a qué velocidades venían referidos los resultados.

En los cálculos referentes a hornos verticales de cal, alimentados con granos de diámetro elevado, y, por lo tanto, con valores relativamente bajos de v_{oL} , se encuentra igualmente que la pérdida de carga depende de v_{oL} y no de v_{oL}^2 .

Heiligenstädt (14) da la siguiente fórmula para el cálculo de la pérdida específica de carga en mm de columna de agua/m de altura en el caso de cargas granulares:

$$\Delta p = n \cdot \gamma \cdot v^{1,9}$$

donde

p = pérdida de carga en mm de columna de agua.

n = constante.

Δ = peso específico del aire o de los gases.

v = velocidad del aire o de los gases.

siendo

$n = 11$ para un tamaño de grano de 60 ± 10 mm

$n = 14$ para un tamaño de grano de 45 ± 5 mm (probablemente mejor $n = 18$)

$n = 28$ para un tamaño de grano de 35 ± 5 mm

$n = 55$ para un tamaño de grano de 25 ± 5 mm

Esto es exclusivamente válido para un volumen de huecos y una granulometría constantes. En los hornos estudiados, el volumen de huecos disminuye de acuerdo con la producción, e igualmente se modifica también la granulometría. Sustituyendo por sus valores v_{tF} y v_t , se obtienen con esta fórmula los valores de la tabla 17 para los casos 1 a 7.

Tabla 17

Constantes n y tamaños de grano

Caso	n (1)	Tamaño medio de grano
1	4,4	165 mm
2	11,4	120
3	9,9	55
4	8,25	21
5	7,45	17
6	6,9	13
7	6,4	8

(1) Variando simultáneamente el volumen de huecos, la temperatura y la granulometría.

De la disminución del factor n en los casos estudiados, sacamos la conclusión que se hace más pequeño el coeficiente de resistencia y, con él, la pérdida específica de carga; hemos realizado la comparación con la fórmula de Heiligenstädt a fin de poner de relieve este hecho.

No se ha intentado expresar por medio de fórmulas todos los resultados. Los gráficos explican con suficiente claridad las condiciones reinantes en el horno vertical, que no son precisamente sencillas.

La fig. 8 da la pérdida específica de carga en mm de columna de agua totales/m de altura y la producción en toneladas diarias en función de v_{oL} y v_{oP} , resultando de nuevo la dependencia de v_{oP} = toneladas diarias (curva 2) y de $\Delta p = v_{oL}^2$ para velocidades grandes.

En la fig. 9 se ha representado la producción específica en kg/m^2 de parrilla y hora en función de la velocidad, a título de comparación con un diagrama recientemente publicado por Gumz (10). Los valores de Gumz para cok y aire (curva B) dependen linealmente de la velocidad en diversos tipos de gasógenos, altos hornos, etc. Igualmente, los valores correspondientes a los hornos verticales estudiados responden a una relación lineal, asombrosamente uniforme, lo que demuestra que los valores del volumen de huecos y de las velocidades han sido calculados correctamente. Que la curva correspondiente a los hornos verticales se encuentre por encima de la de los gasógenos, se debe a que la temperatura de trabajo es superior en los primeros y al efecto exotérmico que tiene lugar en el proceso de cocción del cemento.

Los valores obtenidos para cok y oxígeno son cuatro veces superiores a los correspondientes a carbón y aire; los ensa -

yos realizados por Anselm-Koch sobre la cocción de cemento empleando oxígeno (11) han dado como resultado un aumento del rendimiento al triple en hornos de laboratorio, de modo que puede suponerse - que se alcanzaría una producción cuádruple en escala industrial.

El tiempo de permanencia de los gases en la zona de sinterización propiamente dicha, a la velocidad v_{tF} , es extraordinariamente corto; calculado en los ensayos 1 a 7, resulta variar desde 0,7 segundos antiguamente a 0,01 segundos en la actualidad. Dada la brevedad del tiempo de permanencia y lo elevado de la temperatura, puede suponerse, basándose principalmente en los interesantes ensayos de Wicke y Tsuchamora (15), que la combustión da lugar, en principio, a CO.

Antiguamente se estimaba en 5 el factor $\frac{v_{oF}}{v_{tL}} = \frac{v_{tF}}{v_{oL}} = \%$ del volumen de huecos, para un valor de éste del 20%; sin embargo, en los ensayos 1 - 7 varía entre 3,3 y 6,1, según el volumen de huecos, e indica el aumento de la velocidad de los gases por consideración del volumen real de huecos referido al volumen total supuesto vacío.

De los cálculos se desprende igualmente que en los hornos de 190 toneladas diarias de producción se ha llegado al límite en la elevación de la velocidad de los gases, porque a este aumento se opone un menor consumo de calor, con pequeñas cantidades de aire o gases. Por esta razón, se debe disminuir el diámetro interior de los modernos hornos verticales, y reducir más aún el tamaño de los gránulos.

Vamos a hacer patente también, por medio de un ejemplo, la influencia de una zona de sinterización ensanchada sobre la velocidad de los gases y sobre las pérdidas de polvo. En dicho ejem

pló las velocidades de los gases eran las siguientes:

en la zona de sinterización		en la boca del horno	
v_{oL}	0,7 m/seg.	v_{oL}	0,39 m/seg
v_{tL}	4,55 m/seg	v_{tL}	0,74 m/seg
v_{oF}	4,1 m/seg	v_{oF}	0,97 m/seg
v_{tF}	26,7 m/seg	v_{tF}	1,85 m/seg

Sin ensanchamiento se tendría en la boca $v_{tF} = 5,1$ m/seg.

Es evidente que las pérdidas de polvo serán muchos menores para 1,85 m/seg. que para 5,1 m/seg., pues la velocidad límite tolerable es de 2 m/seg.

En lo que se refiere a la velocidad de los gases conviene considerar además las condiciones de flujo. El hábito de la curva correspondiente a v_{oL} en la fig 7 permite reconocer claramente que aquella presenta dos inflexiones muy marcadas, y esto está relacionado con el régimen laminar y turbulento, que están unidos por una zona de transición. Los puntos límites corresponden a $v_{oL} = 0,17$ y $v_{oL} = 0,35$ m/seg. En las curvas de las figs. 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se observa el mismo hábito característico. Se reconoce perfectamente esta influencia, que ha sido decisiva para dar el último paso hacia el actual horno vertical de gran rendimiento. En la actualidad se han conseguido unas condiciones de trabajo más precisas, y ya no nos movemos dentro de una zona de transición en la que se observaban resultados discordantes.

g) Velocidad de cocción y tiempo de paso.

Introduciendo el volumen de huecos calculado, puede de -

terminarse el volumen neto correspondiente a la carga, así como el peso de ésta, partiendo del peso aparente.

La fórmula:

$$\frac{\text{Peso de la carga en Tm x 24 horas}}{\text{Tm/día}}$$

nos dá, en horas, el tiempo que tarda la carga en pasar a través del horno; para una altura de 8,5 m, se tiene:

$$\frac{14,15}{\text{velocidad de cocción en cm/min}}$$

Y la velocidad media de cocción en cm/min resulta de:

$$\frac{\text{Altura en cm}}{\text{Tiempo de paso en horas x 60}}$$

Para una altura de 8,5 m se tiene:

$$\frac{14,15}{\text{Tiempo de paso en horas}}$$

De este modo, en los ensayos 1 a 7 se obtienen unos tiempos de paso de la carga, desde la boca del horno hasta la salida del mismo, comprendidos entre 45 y 7 horas, y unas velocidades de cocción de 0,28 a 2 cm/min.

La medida experimental de los tiempos de paso y de las velocidades de cocción demuestran que los valores calculados de acuerdo con lo anteriormente expuesto y las cifras supuestas o calculadas para el volumen de huecos y los pesos aparentes, están de acuerdo con la práctica. Únicamente, en lo que se refiere a las velocidades de cocción hay que hacer una distinción en

tre la velocidad en el conjunto del horno y la velocidad en la boca del mismo.

Se ha comprobado que es ventajoso realizar continuamente medidas prácticas de la velocidad de cocción en los hornos verticales; sin embargo, se obtienen valores más altos que los calculados. Y es lógico que sea así, porque entre la boca del horno y la zona de sinterización ejerce su acción una retracción enorme; después, desde la zona de clinkerización hasta la salida del horno, la velocidad de cocción está de acuerdo con el tiempo normal de paso. Por esta razón, sólo se puede hablar propiamente de una velocidad de cocción en la región comprendida entre la boca del horno y la zona de sinterización. Las velocidades de cocción que se obtienen por cálculo, teniendo en cuenta la retracción, están comprendidas entre 0,35 y 3,50 cm/min en los ensayos 1 a 7, lo cual está de acuerdo con la práctica.

Disponemos así, en las medidas realizadas de un modo continuo, de un medio de detectar inmediatamente cualquier variación en la composición del crudo molido, en los combustibles o en la presión y que nos da una idea sobre el rendimiento, sobre el consumo de calor y sobre la calidad. Obtenemos, además, la retracción real de la masa, que resulta de las cifras dadas anteriormente, correspondientes a estas mediciones o cálculos. Cada crudo experimenta una retracción distinta, por lo cual, las cifras anteriores deben servir exclusivamente de orientación.

En diversas fábricas se realiza ya la medida de la velocidad de cocción, introduciendo una sonda con una placa en el lecho de gránulos, durante un minuto cada hora, y midiendo la profundidad de penetración en cm. La media de la jornada se toma como base para los cálculos.

La velocidad de cocción en la región media del horno es exactamente proporcional a la velocidad de los gases, referida al volumen real de huecos (v_{oF}).

El conocimiento del peso de la carga, que se obtiene en estos cálculos, tiene importancia para la construcción de la parrilla y del eje central; dicho peso, que antes era inferior a las 50 Tm, es de unas 70 Tm en la actualidad.

(Concluirá en el próximo número.)

- - -